

# 青岛地铁 4 号线数据通信系统网络架构研究

兰慧峰<sup>1</sup> 左旭涛<sup>1</sup> 张 伟<sup>1</sup> 夏明亮<sup>2</sup>

(1. 青岛地铁集团有限公司, 266101, 青岛;

2. 上海电气泰雷兹交通自动化系统有限公司, 202003, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 对比分析了青岛地铁 4 号线与 2 号线的 DCS(数据通信系统)网络架构特点。青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构是在青岛地铁 2 号线的基础上演化而来的。为满足安全性要求,青岛地铁 4 号线 DCS 网络架构继承了青岛地铁 2 号线的优点,并对网络架构进行了进一步优化;采用 A/B 网设计思路,对不同类型业务进行物理隔离,增强了整个网络的冗余度和可靠性。

**关键词** 青岛地铁;数据通信系统;网络架构;A/B 网;可靠性

**中图分类号** U285.4<sup>+</sup>4

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2020.11.020

## Research on DCS Network Architecture of Qingdao Metro Line 4

LAN Huifeng, ZUO Xutao, ZHANG Wei, XIA Mingliang

**Abstract** The features of network architecture of the DCS (Data Communication Subsystem) of Qingdao Metro Line 4 and Line 2 are analyzed and compared. The network architecture of Qingdao Metro Line 4 evolved from Qingdao Metro Line 2. In order to meet the safety requirements, the network architecture of Qingdao Metro Line 4 inherits the advantages of Qingdao Metro Line 2 and is further optimized, using A/B network design ideas and physical isolation of different types of services to enhance the redundancy and reliability of the entire network.

**Key words** Qingdao Metro; data communication system (DCS); network architecture; A/B network; reliability

**First-author's address** Qingdao Metro Group Co., Ltd., 266101, Qingdao, China

青岛地铁 4 号线 DCS(数据通信系统)的网络架构设计,充分考虑了青岛地铁 2 号线 DCS 网络架构的既有问题,解决了青岛地铁 2 号线 DCS 网络架构中存在的单网故障问题,对相对复杂的 ATP/ATS(列车自动防护/列车自动监控)网络切换机制进行

了简化,配合信号系统软件实现了对 A/B 双网的完善支持,可在 A/B 双网上收发内容完全相同的数据报文,实现了 DCS 网络单网故障情况下信号系统的无扰切换和零时延。

为了支持 DCS 的 A/B 双网构架,信号系统软件相应地进行了配套升级,虽然增加了软件系统设计的复杂性,但减少了网络动态切换对通信的影响,提高了信号系统整体的可靠性。

LTE(长期演进)双无线骨干网的构架有效地解决了青岛地铁 2 号线单无线骨干网存在的缺陷,大幅度提升了车地通信的可靠性水平。

## 1 青岛地铁 2 号线 DCS 网络架构特点

青岛地铁 2 号线的 DCS 网络架构如图 1 所示。ATP 骨干网负责传输 ATP 流量,ATS 骨干网负责传输 ATS 流量,无线骨干网负责传输车地通信流量。其中,ATP 骨干网和 ATS 骨干网互为冗余,无线骨干网是单骨干网。

在轨旁和车载设置 SD(安全设备)安全加密网关,加密流经开放空间的行车控制流量。

车载控制器(VOBC)冗余连接到 A/B 两张网络,通过两张网并行收发数据。每张网络包含车载电台、车载 SD 和车载接入交换机。车载电台负责接入轨旁无线网络,为车地通信提供无线桥接服务。车载 SD 和轨旁 SD 共同负责车地通信报文的加密和解密,车载交换机提供车载终端的接入服务。

车地无线网络为单无线网架构,车载两端的的车载电台都接入这个轨旁无线网络。

轨旁无线 AP(接入点)采用冗余覆盖,单个点的 AP 故障不会影响无线覆盖,为单无线骨干网。

青岛地铁 2 号线 DCS 网络架构的优点:不同类型的业务流量使用各自独立的骨干网;网络高度冗余,单节点故障不会导致列车和轨旁丢失通信。

青岛地铁 2 号线 DCS 网络架构的缺点:无线骨

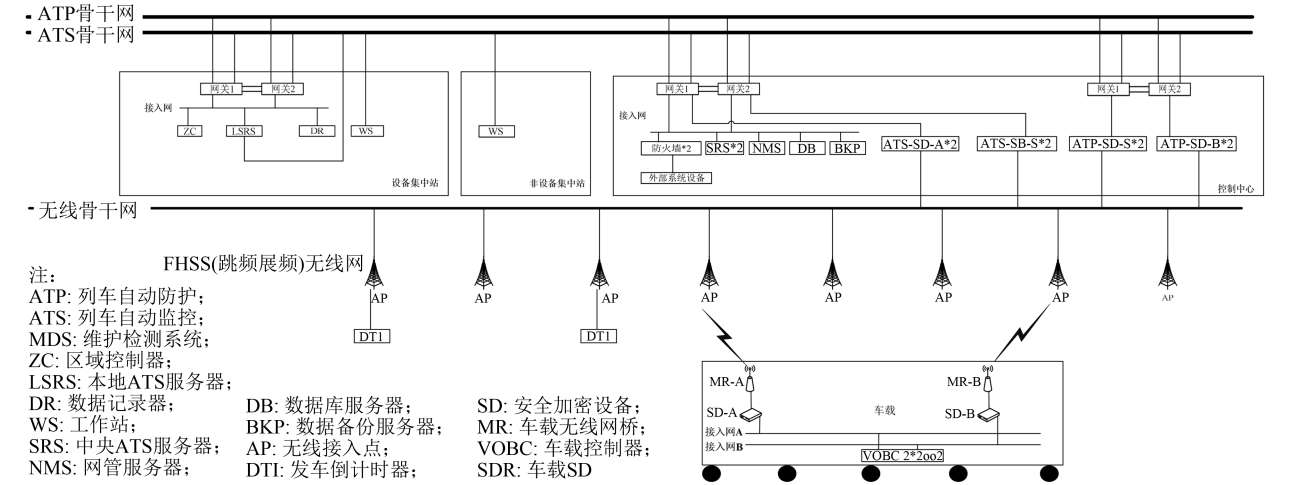


图 1 青岛地铁 2 号线网络架

干网没有后备网络;单无线网,没有后备;故障情况下的网络切换会产生切换时延。

2 青岛地铁 4 号线 DCS 网络架构特点

青岛地铁 4 号线 DCS 网络采用了如图 2 所示

的 A/B 网架构。  
整体采用 A/B 网架构,信号系统的 ATP 设备、ATS 设备采用冗余方式连接到这两张网络。  
轨旁骨干网包含 2 张 ATP 骨干网、2 张 ATS 骨干网、2 张无线骨干网。

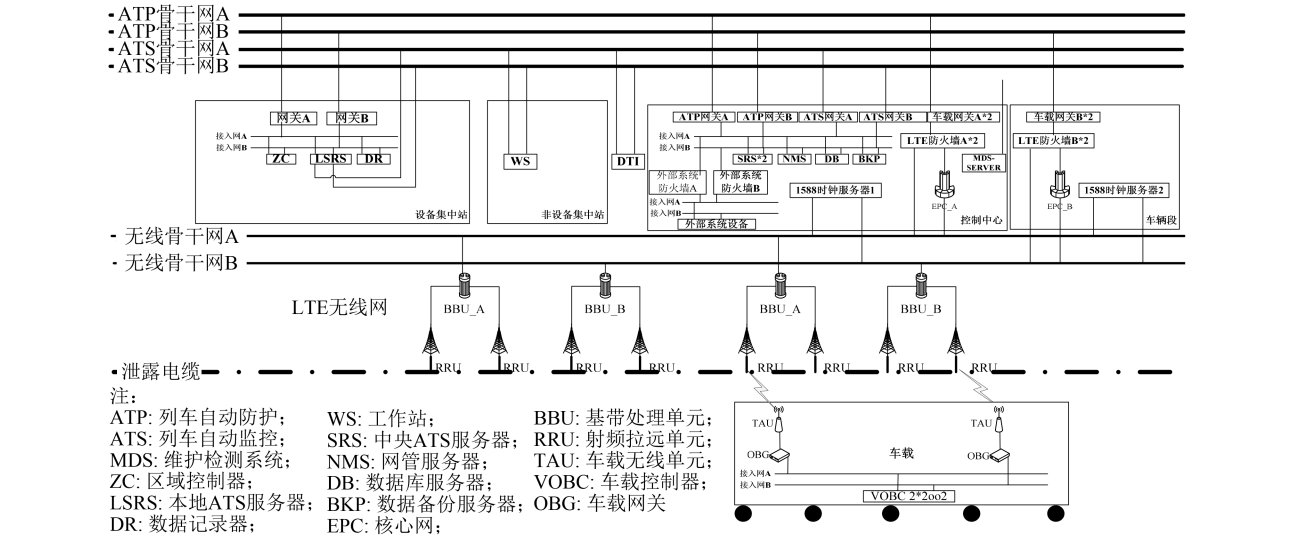


图 2 青岛地铁 4 号线网络架构

ATP 设备连接到 ATP 网,ATS 设备连接到 ATS 网,LTE 设备连接到无线骨干网。ATP 骨干网传输 ATP 流量,ATS 骨干网传输 ATS 流量,无线骨干网传输车地通信流量。每种业务流量的骨干网分 A 网和 B 网,双网并行传输数据。  
双 LTE 无线网,车载 A 端和 B 端的无线电台分别接入不同的无线网络。  
车载控制器采用冗余方式连接到 A 网和 B 网,和轨旁信号设备通过两个独立的通信通道进行

通信。  
LTE 无线系统能够更好地满足信号系统对高带宽、低时延的要求。  
对于数据的安全性,LTE 通过完整性保护和加密两种方式来确保流经开放空间的列车控制报文的安全。完整性保护使得接收实体(包括轨旁 LTE 基站和车载 LTE 电台)能够检测信息在传输过程中是否被篡改。加密功能可以防止轨旁和车载之间的列车控制报文被非法拦截或篡改。加密/完整性

保护算法名称和编号映射关系见表 1。

表 1 加密/完整性保护算法名称和编号映射关系

算法名称	完整性算法编号	加密算法编号
NULL	EIA0	EEA0
Snow3G	EIA1	EEA1
AES	EIA2	EEA2
ZUC	EIA3	EEA3

为了确保数据完整性和私密性,青岛地铁 4 号线在 Snow3G、AES(增强型加密标准)和 ZUC(祖冲之算法)3 种算法中选择一种部署到 LTE 网络中。

LTE 系统的 EPC(核心网)设备采用异地部署方案,A 网的设置在 OCC(控制中心),B 网的设置在车辆段。

2.1 轨旁有线网络

有线骨干网采用骨干网交换机光纤两两互联组成环形结构,这种环形网络可有效抵御骨干网单点故障,确保通信不会中断。

ZC、ATS 服务器通过冗余的网口(A 网口和 B 网口)接入 DCS 网络,通过 A 和 B 两个通道进行数据交互。相同的数据在 A、B 两个通道上并行传输,单通道故障不影响另外一个通道的数据传输。

轨旁信号系统去往车载信号系统的路由节点设置在控制中心和车辆段,其中控制中心属于 A 网,车辆段属于 B 网。各个设备集中站、OCC 的网关设备会将去往车载的路由下一跳分别指向 OCC、车辆段和 LTE 系统对接的车载网关。

考虑到 LTE 系统属于非受信任系统,在车载网关和 LTE 核心网之间设置 LTE 系统防火墙来保护轨旁信号系统,确保来自 LTE 系统的网络入侵不会影响到轨旁信号系统。

LTE 系统负责轨旁 ZC、SRS 和车载 VOBC 的车地无线通信,分为 A 和 B 两套系统,每套系统包括 EPC、BBU、RRU、LTE 骨干网、GPS(全球定位系统)天线等,两套系统并行工作,物理隔离。

2.2 LTE 车地无线网络

车地无线网络由 2.4 G FHSS 技术升级为 1.8 G LTE 技术。目前 LTE 是国内地铁行业信号系统无线覆盖的主流解决方案。LTE 在带宽、抗干扰、可扩展性、叠加应用等方面要优于青岛地铁 2 号线使用的 FHSS 技术。

LTE 系统可以逻辑分为核心网层、基站接入层、终端层,如图 3 所示。

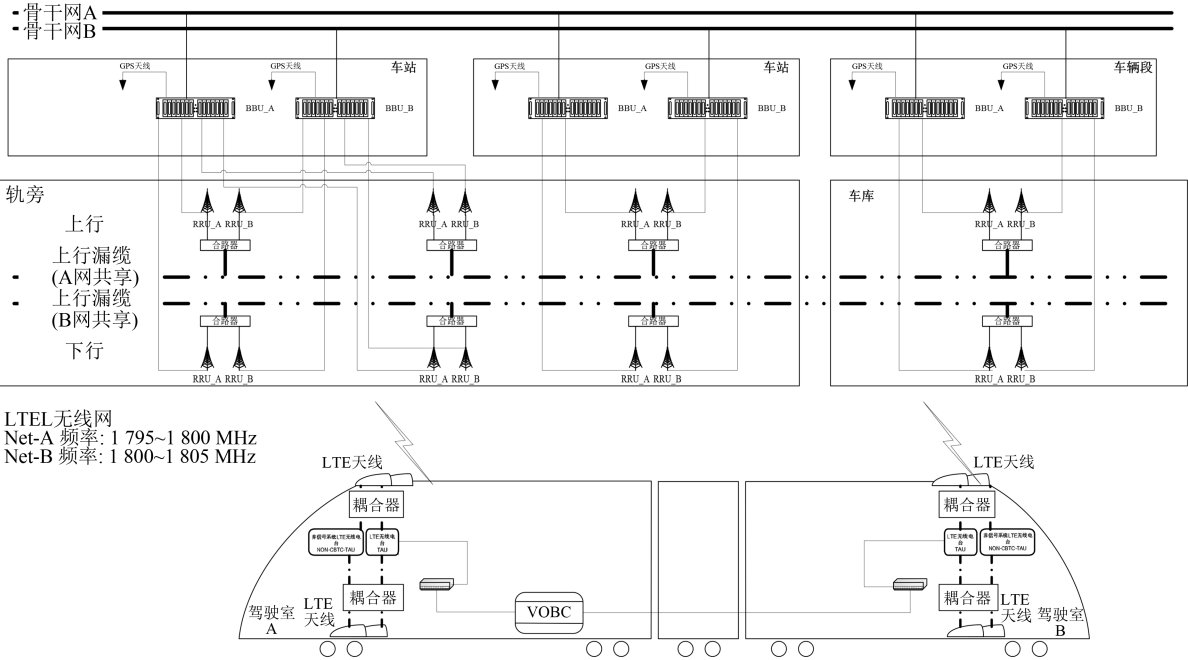


图 3 LTE 车地无线通信系统示意图

1) 核心网层 EPC:是整个无线网络的核心部分,完成无线传输数据的汇聚与分发,与轨旁信号系统对接,为信号系统提供可靠的双向数据通信服务。

2) 基站接入层 BBU+RRU:主要由 BBU 和

RRU 组成,BBU 布置于设备房内,RRU 分布于轨道沿线提供无线接入,BBU 下挂 RRU,同时上连到 LTE 骨干网交换机,通过 LTE 骨干网与 LTE 核心网 EPC 层对接,完成对各类业务的数据传输。

3) 车载无线终端：由车载无线终端 TAU( 车载接入单元)组成。

沿线的 RRU 点,每个点两台 RRU,分 A 网和 B 网。A 网和 B 网使用不同的工作频带,属于同一网络的 RRU 使用相同的工作频带。

### 2.3 车载网络

车载网络和青岛地铁 2 号线的架构相同,为标准的 A/B 网架构。车载内网为以太网环境,由车载交换机组成,分 A 网和 B 网两个网络,A 网和 B 网各自独立。车载 VOBC 通过冗余的网口分别连接到 A 网和 B 网,在这两个网络上并行收发数据,单

网故障不影响 VOBC 运行。

OBG( 车载网关) 上连车载无线电台 TAU, TAU 设备会通过轨旁 LTE 无线网络注册到各自所属网络的核心网,在轨旁系统和车载系统之间提供无线桥接服务。

### 3 青岛地铁 2 号线和 4 号线 DCS 网络架构对比

青岛地铁 2 号线和 4 号线 DCS 网络架构的比较如表 2 所示。

表 2 青岛地铁 2 号线和 4 号线的 DCS 网络架构

项目		青岛地铁 2 号线	青岛地铁 4 号线	结论
整体网络架构		轨旁有线网络需要主备切换,存在切换时延;车地无线网络为单套无线网,没有后备;车载网络为 A/B 网架构	轨旁有线网并行工作,不存在切换时延;车地无线网为双无线网,双网并行工作;车载网络为 A/B 网架构	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的
	ATP 骨干网	单骨干网和 ATS 骨干网互为冗余,ATP 骨干网故障会将 ATP 流量切换至 ATS 骨干网继续传输。切换过程存在时延,ATP 业务会出现中断	双 ATP 骨干网,并行工作,单网故障不影响另外一张网的运行,ATP 业务不会中断	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的
	ATS 骨干网	单骨干网和 ATP 骨干网互为冗余,ATS 骨干网故障会将 ATS 流量切换至 ATP 骨干网继续传输。切换过程存在时延,ATS 业务会出现中断	双 ATS 骨干网,并行工作,单网故障不影响另外一张网的运行,ATS 业务不会中断	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于青岛 2 号线的
冗余性	无线骨干网	单骨干网,无后备网络	双无线骨干网,并行工作,单网故障不影响另外一张网的运行	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的
	车地无线网	单无线网,无后备网络	双无线网,并行工作,单网故障不影响另外一张网的运行,车地业务不会中断	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的
	车载网络	A/B 网架构	A/B 网架构	持平
	轨旁 SD	A/B 网架构	A/B 网架构	持平
骨干网数量		4 个骨干网,骨干网之间耦合度较高,冗余度高的同时会引入故障在各个网之间传导的问题	7 个骨干网,骨干网之间并行工作。冗余度高的同时,单网的故障不会传导到其他网络,确保整个系统的稳定	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的
无线覆盖		2.4 GHz 频段,天线覆盖;所在频段干扰源多;天线覆盖容易信号覆盖不稳定	1.8 GHz 频段,漏缆覆盖;所在频段需要无委会审批,专网专用;漏缆覆盖信号更稳定	青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构优于 2 号线的

### 4 结语

青岛地铁 4 号线的 DCS 网络架构设计是在总结了青岛地铁 2 号线的网络架构优缺点的基础上,继承了青岛地铁 2 号线的架构优点,并进一步的优化了网络结构,进一步增强了整个网络的冗余度和可靠性。

### 参考文献

[1] 王映民,孙韶辉. TD-LTE 技术原理与系统设计[M]. 北京:人

民邮电出版社,2010.

[2] 高峰,高泽华,丰雷,等. TD-LTE 技术标准与实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.

[3] 赵旭淞,张新程,徐德平,等. TD-LTE 无线网络规划及性能分析[J]. 电信工程技术与标准化,2010(11): 22.

[4] 常玲. TD-LTE 链路预算探讨[J]. 广东省通信协会. 2010 7D 网络创新研讨会论文集. 北京:广东省通信协会,2010.

[5] 3GPP. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2.; 3GPP TS 36. 300 [S]. 3GPP.

( 收稿日期:2020-07-23)